

INSTITUT FÜR BAUSTOFFKUNDE UND STAHLBETONBAU

der Technischen Hochschule Braunschweig

Direktor: o.Prof. Dr.-Ing. Karl Kordina

B e r i c h t

Inhalt: Versuche über das Kriechen un-  
wehrten Betons im natürlichen  
Klima.

**BIBLIOTHEK**  
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz  
der Technischen Universität Braunschweig  
Beethovenstraße 22  
D-38105 Braunschweig

### 1. Vorbemerkung

Das im Jahre 1962 in der Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton erschienene Heft 146 behandelt den Einfluß der Zementart, des Wasserzementverhältnisses, des Belastungsalters und des mineralogischen Charakters der Zuschläge auf das Kriechen unbewehrten Betons. Diese Kriechversuche wurden im Klimaraum in Aachen und München bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchtigkeit durchgeführt.

In Anlehnung an diese Untersuchungen im Auftrage des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton wurde nun im Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig (Außeninstitut Querum) der Kriechvorgang im natürlichen Klima studiert. Ein "Winterbeton" wurde im Januar 1964 im Freien unter Dach belastet, ein "Sommerbeton" wurde im Juli 1964 ebenfalls im natürlichen Klima untersucht. Der Beton war bei der Belastung 7 Tage alt. Als Bindemittel wurde ein Portlandzement Z 275 ( $N_{p28} = 520 \text{ kg/cm}^2$ ) und ein Hochofenzement Z 275 ( $N_{p28} = 480 \text{ kg/cm}^2$ ) verwendet. Beim Abschluß des Berichtes beträgt das Belastungsalter des Winterbetons 180 Tage, das des Sommerbetons 28 Tage.

### 2. Verwendetes Material

#### 2.1 Zuschlagstoffe

Die Kornzusammensetzung des Rheinkiessandes entsprach der Sieblinie E von DIN 1045, wobei im Bereich 0 bis 0,2 mm eine kleine Abweichung eintrat. Es wurde nämlich durch Zugabe von Normensand I ein Feinstoffgehalt (Zement + Zuschlagstoff 0 bis 0,2 mm) von  $400 \text{ kg/m}^3$  erzielt. Bei den Aachener und Münchener Versuchen des D.A.f.S. betrug der Mehlkorngelalt der Betone  $450 \text{ kg/m}^3$ . Dieser Wert ist im Vergleich zu den heute in der Praxis angewendeten Betone sehr hoch.

Bild 1: siehe folgendes Blatt

Bild 1: Kornaufbau und Zusammensetzung der Zuschläge

Material	Siebdurchgang (Gew.-%)						Zusammen- setzung (Gew.-%)
	0,2 mm	1 mm	3 mm	7 mm	15 mm	30 mm	
Normensand I	100	100	100	100	100	100	0,8
0 - 3	8,8	75,5	95,6	100	100	100	31,3
1 - 3	0	0,4	94,7	100	100	100	10,9
3 - 7	0	0	12,3	95,8	100	100	17
7 - 15	0	0	0	4,2	86,1	100	22
15 - 30	0	0	0	0	6,0	96,5	18

100,0

Bild 2: Kornzusammensetzung des Gesamtzuschlagstoffes

	Siebdurchgang (Gew.-%)						Spez. Gewicht kg/dm <sup>3</sup>
	0,2 mm	1 mm	3 mm	7 mm	15 mm	30 mm	
Gesamtzuschlag	3,5	24,5	43,3	60,1	80,1	99,4	2,63
Sieblinie E DIN 1045	9	24	43	60	82	100	-

## 2.2 Zemente

Es wurden handelsübliche Portlandzemente und handelsübliche Hochofenzemente verwendet, die in luftdicht verschließbaren Tanks gelagert waren.

Bild 3: Eigenschaften der verwendeten Zemente

Allgemeines	Zementart	PZ	HOZ
	Güteklasse	Z 275	Z 275
	Lieferwerk	Mark II Dyckerhoff Zementwerke AG	
	Tag der Anlieferung	14.1.64	14.1.64
DIN 1164	Tag der Herstellung des Prüfkörpers	22.1.64	22.1.64
	Wasserzusatz für Normensteife (Gew.-%)	26,6	26,3
	Raumbeständigkeit	bestanden	bestanden
	Beginn des Abbindens (Std./Min.)	3/25	4/00
	Ende des Abbindens (Std./Min.)	4/38	5/08
	W/Z-Faktor	0,60	0,60
	Raumgewicht 7 T. (kg/dm <sup>3</sup> )	2,30	2,31
	Biegezugfestigkeit n. 7 T. (kg/cm <sup>2</sup> )	59,4	55,3
	Druckfestigkeit n. 7 T. (kg/cm <sup>2</sup> )	374	318
	Raumgewicht n. 28 T (kg/dm <sup>3</sup> )	2,31	2,30
	Biegezugfestigkeit n. 28 T. (kg/cm <sup>2</sup> )	84,8	85,6
	Druckfestigkeit n. 28 T. (kg/cm <sup>2</sup> )	520	477
DIN 1171	Rückstand auf dem Sieb 0,2 (Gew.-%)	-	-
	Rückstand auf dem Sieb 0,09 (Gew.-%)	6,15	2,2

3. Mischungsverhältnis

In Anlehnung an Heft 146 wurde das Mischungsverhältnis nach Festraumteilen Zement : Zuschlag : Wasser = 1 : 6,5 : 1,7 festgelegt. Diesem entspricht nach Gewichtsteilen das Verhältnis Zement : Zuschlag : Wasser = 1 : 5,52 : 0,55.

4. Herstellung

Der Beton für 2 Kriechzylinder 20/80 cm, 2 Schwindzylinder 20/80 cm, 2 E-modulzylinder 20/80 cm, 9 Würfel 20 cm, 3 Zylinder 15/30 cm und 2 Quader 10/15/70 cm wurde in einem 375 l Zwangsmischer hergestellt. Die Mischzeit betrug 3 Minuten. Alle Versuchskörper wurden 1 Minute auf einem Rütteltisch verdichtet. Die Zylinder 20/80 wurden mit Überlänge hergestellt. Nach Abbindebeginn wurde die Überlänge entfernt. Die Körper wurden bis zum Ausschalen stehend<sup>ab</sup>bewahrt.

5. FrischbetoneigenschaftenBild 4: Frischbetondaten

Bezeichnung der Betonreihen	KB I	KB II	KB III	KB IV
Zementart und Güteklasse	PZ 275	HOZ 275	PZ 275	HOZ 275
Ausbreitmaß nach DIN 1048 (cm)	42	40	44	40
Lufttemperatur bei der Herstellung (°C)	10°	10°	22°	20°
Frischbetonporengehalt bestimmt mit Prüfgerät der Tonindustrie (%)	2,0	1,6	1,6	0,8
Frischbetonraumgewicht (kg/dm <sup>3</sup> )	2,38	2,38	2,33	2,38
Theoretisches Frischbetonraumgewicht (kg/dm <sup>3</sup> )	2,38	2,38	2,38	2,38

6. Lagerung

Alle Versuchskörper wurden nach 1 Tag ausgeschalt. Der Winterbeton wurde 4 Tage bei einer Temperatur von 10 °C und annähernd 100 % Luftfeuchtigkeit gelagert. Über die Betonkörper wurden feuchte Tücher gebracht, die an ihrem unteren Ende im Wasser eintauchten. Infolge Kapillarwirkung hielten sich die Tücher über einen großen Bereich selbsttätig feucht. Mit einem Betonalter von 5 Tagen wurden die Körper an ihren Einbauort im natürlichen Klima, das in der Anlage 2 wiedergegeben ist, gebracht.

Dazu im Gegensatz wurde der Sommerbeton bei 25 °C 4 Tage gelagert.

7. Betontechnologische Eigenschaften, Druckfestigkeiten,  
Elastizitätsmoduli und Verformungseigenschaften

Bild 4: Eigenschaften der geprüften Betone

Betontechnologische Eigenschaften		Betonalter (Tage)	Bez.	Dimension	Versuchsreihe und Zementart			
					KB I	KB II	KB III	KB IV
					Winterbeton PZ 275	HOZ 275	Sommerbeton PZ 275	HOZ 275
Betontechnologische Eigenschaften	Zuschlagsart	-	-	-	R h e i n k i e s s a n d			
	W/Z-Faktoren	-	W/Z	-	0,55	0,55	0,55	0,55
	Frischbetonraumgewicht	-		kg/dm <sup>3</sup>	2,38	2,38	2,33	2,38
	Gewichtsanteile (Frischbeton)							
	Zement	-	Z	kg/m <sup>3</sup>	335	335	335	335
	Zuschlag	-	S	kg/m <sup>3</sup>	1860	1860	1860	1860
	Wasser	-	W	kg/m <sup>3</sup>	185	185	185	185
Druckfestigkeiten	Würfel 20 cm	3	B <sub>w</sub> <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	170	-	217
		4	B <sub>w</sub> <sup>4</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	284	-	-	-
		7	B <sub>w</sub> <sup>7</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	326	274	374	348
		28	B <sub>w</sub>	kg/cm <sup>2</sup>	400	370	423	419
		90	B <sub>w</sub> <sup>90</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	482	465	-	-
		180	B <sub>w</sub> <sup>180</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	609	547	-	-
		360	B <sub>w</sub> <sup>360</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-	-
	Zylinder 15/30 cm	28	B <sub>c</sub>	kg/cm <sup>2</sup>	285	288	340	333
	B <sub>c</sub> /B <sub>w</sub>	-	-	-	0,71	0,78	0,80	0,80

Fortsetzung der Tafel siehe folgendes Blatt

Bild 4: Fortsetzung

E-moduli	Federnde Elastizitätsmoduli nach der 1. Entlastung	7	$E_{e,1}$	t/cm <sup>2</sup>	298	257	286	280
		28	$E_{e,1}$	t/cm <sup>2</sup>	290	302	328	268
		90	$E_{e,1}$	t/cm <sup>2</sup>	292	304	-	-
		180	$E_{e,1}$	t/cm <sup>2</sup>	330	302	-	-
		360	$E_{e,1}$	t/cm <sup>2</sup>	-	-	-	-
Verformungseigenschaften	Elastische Augenblicksverf.	7	$\xi_{1,el}$	10 <sup>-3</sup>	-0,36	-0,35	-0,42	-0,43
	Kriechspannung		$\sigma_K$	kg/cm <sup>2</sup>	109	91	120	120
	Bezogenes Kriechmaß nach 28 Tagen	35	$\bar{\xi}_{K,28}$	$\frac{10^{-6}}{\text{kg/cm}^2}$	-3,4	-3,8	-3,9	-3,2
	Bezogenes Kriechmaß nach 180 Tagen	187	$\bar{\xi}_{K,180}$	"	-7,5	-7,4	-	-
	Kriechzahl nach 28 Tagen	35	$\psi_{28} = \frac{\bar{\xi}_{K,28}}{\bar{\xi}_{1,el}}$	-	1,02	0,97	1,12	0,89
	Kriechzahl nach 180 Tagen	187	$\psi_{180} = \frac{\bar{\xi}_{K,180}}{\bar{\xi}_{1,el}}$	-	2,28	1,92	-	-
	Schwindmaß nach 28 Tagen	35	$\xi_{S,28}$	mm/m	-0,06	-0,04	-0,09	-0,08
	Schwindmaß nach 180 Tagen	187	$\xi_{S,180}$	"	-0,28	-0,27	-	-

Der zeitliche Anstieg der Betondruckfestigkeiten, bestimmt an Würfeln mit 20 cm Kantenlänge, und die zeitliche Veränderung des federnden Elastizitätsmoduls nach der ersten Belastung sind in Anlage 3 dargestellt. Die ermittelten Werte von  $E_{e,1}$  sind etwas unsicher, da der Einfluß der wiederholten Belastung nicht abgeschätzt werden kann.

### 8. Belastung und Messung der Verformungen

Die Kriechkörper wurden nach 7 Tagen mit einem Drittel der Festigkeit der entsprechend gelagerten Würfel belastet. Durch eine hydraulische Belastungseinrichtung wurde eine konstante Last erzeugt, wobei Druckluft in einer Preßluftflasche auf eine Druckflüssigkeit wirkte. Erfahrungsgemäß mußte jeweils auf Winter-, Frühlings-, Sommer- und Herbstlufttemperatur eingestellt werden. Die beiden einer Betonart zugehörigen Kriechkörper wurden zusammen in einer Belastungseinrichtung untereinander eingebaut und zentrisch belastet (Anlage 4).

Die Verformungen der Kriech- und Schwindkörper wurden mit einem Setzdehnungsmesser, der 50 cm Meßlänge hatte, gemessen. An jedem Schwind- und Kriechkörper waren 4 verschiedene Meßstellen angeordnet, von denen zwei gegenüber lagen.

Zur Messung des E-moduls wurde ein Setzdehnungsmesser mit 20 cm Meßlänge benutzt. Die Messung der Formänderungen erfolgte jeweils 2 Minuten nach Erreichen der Prüfspannung bzw. nach Entlasten. Die Laststeigerung betrug  $2 \text{ kg/cm}^2 \text{ sek.}$

### 9. Kriechen

Kriechen bedeutet die verzögerte elastische Verformung plus zeitabhängiges Fließen.

Das Kriechmaß wurde aus den Verformungen der Kriech-, Schwind- und E-modulkörper berechnet.

$$\zeta_K = \zeta_{el+S+K+T} - \zeta_{S+T} - \zeta_{el}$$

$$\zeta_K = \text{Kriechverformung}$$

$$\zeta_{el+S+K+T} = \text{elastische + Schwind- + Kriech- + Temperaturverformung, gemessen an den Kriechkörpern}$$

$$\zeta_{S+T} = \text{Schwind- + Temperaturverformung, gemessen an den Schwindkörpern}$$

$$\zeta_{el} = \text{elastische Verformung} = \text{const.}, \text{ gemessen an den E-modulkörpern am Belastungstag der Kriechkörper}$$



An den Schwind- und Kriechkörpern wurde immer zum gleichen Zeitpunkt gemessen, um die Verformung infolge Temperatur auszuschalten. Die Kriechverformungen wurden in der Anlage 1 aufgetragen.

#### 10. Schwinden

Von den Verformungen, die an den Schwindkörpern ermittelt wurden, mußte der Temperatureinfluß ebenfalls eliminiert werden. Die Temperatur der Betonoberfläche wurde gemessen, indem ein Quecksilberthermometer in ein kleines Bohrloch gesteckt wurde. Wenn Zwängungsspannungen vernachlässigt werden, kann mit der Wärmeausdehnungszahl für Beton  $\alpha = 1,0 \cdot 10^{-5}$  der Temperatureinfluß ausgeschaltet werden. Die so ermittelten Schwindverformungen wurden in Anlage 1 wiedergegeben.

#### 11. Gewichtsverlust

Der Austrocknungsverlauf der Schwindkörper, der mit einer Brückenwaage von 250 kg Tragkraft beobachtet wurde, ist auf Anlage 1 dargestellt. So sind die relativ großen Streuungen zu erklären, die sich bei der graphischen Auftragung des Austrocknungsverlaufes zeigen.

#### 12. Ergebnis

Beim Abschluß des Berichtes beträgt das Belastungsalter des Winterbetons 180 Tage, das des Sommerbetons 28 Tage.

Das Schwindmaß des Sommerbetons nach 28 Tagen ist infolge der wärmeren Lufttemperatur und der geringeren Luftfeuchtigkeit fast doppelt so groß wie das des Winterbetons.

Überraschend sind sowohl das Kriechmaß als auch die Kriechzahl nach 28 Tagen des Sommer- und Winterbetons gleich. Kriechverformungen sind vermutlich die durch die Belastung rückgängig gemachten Volumenauflockerungen des Zementsteines infolge Schwinden. Der Sommerbeton besitzt zum Zeitpunkt der Belastung einen höheren Reifegrad, da die Lufttemperatur beim Betonieren höher war. Vor allen wurde der Sommerbeton 4 Tage bei 25 °C Lufttemperatur gelagert, dagegen der Winterbeton bei 10 °C Lufttemperatur. Wahrscheinlich gleichen sich der Faktor des größeren Schwindens mit dem Faktor des höheren Reifegrades aus.

Portlandzement- und Hochofenzementbeton zeigen kein sehr unterschiedliches Kriechverhalten. Nach 180 Tagen ist das Kriechmaß

des Portlandzementbetons 2 % größer als das des Hochofenzementbetons. Die Kriechzahl des Portlandzementbetons ist allerdings 20 % größer.

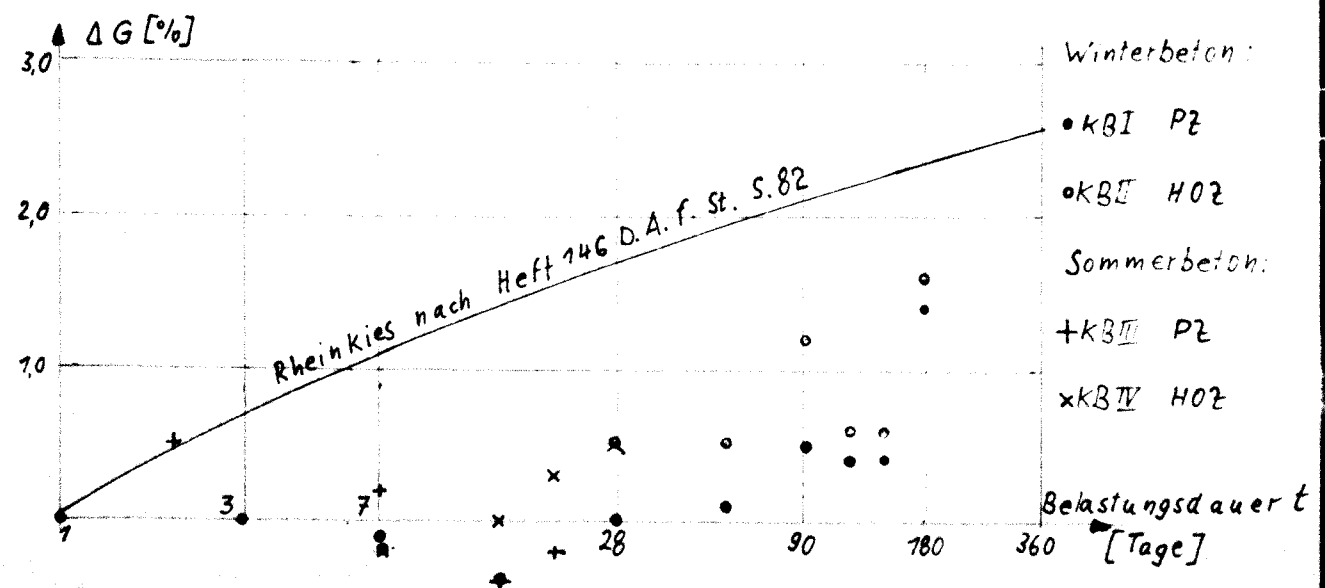
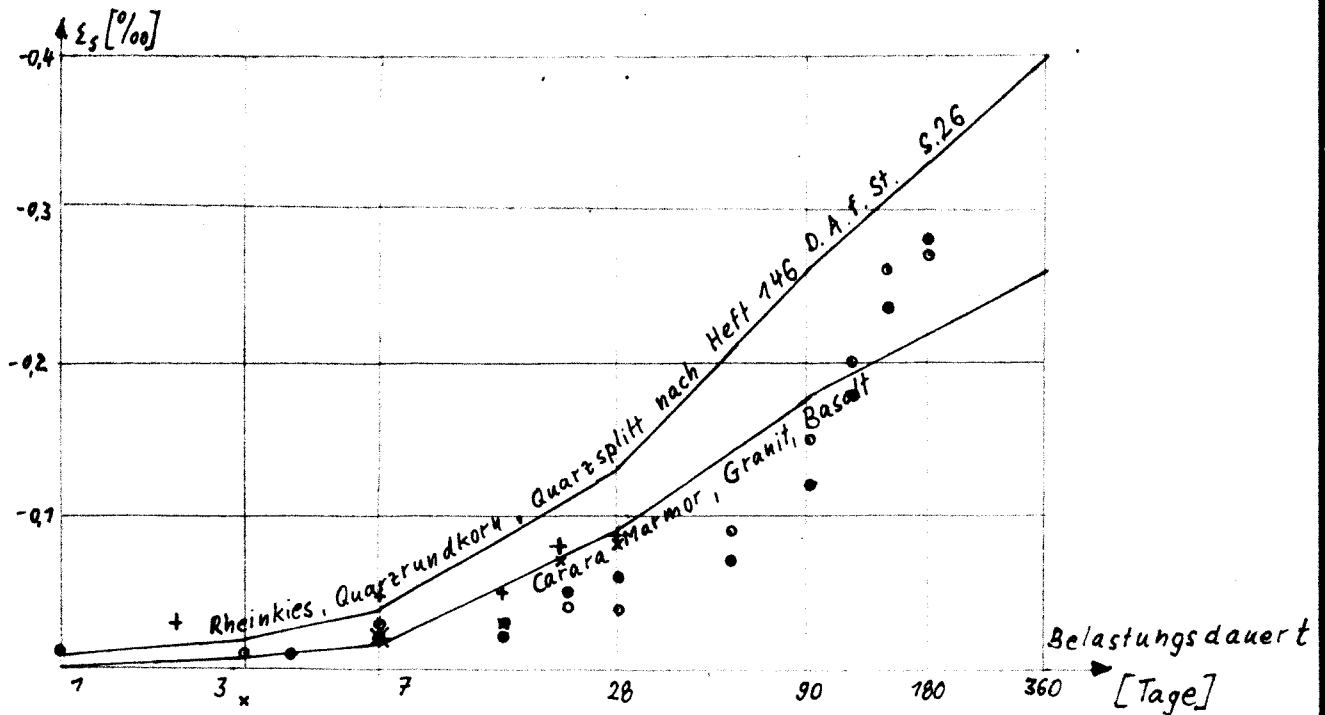
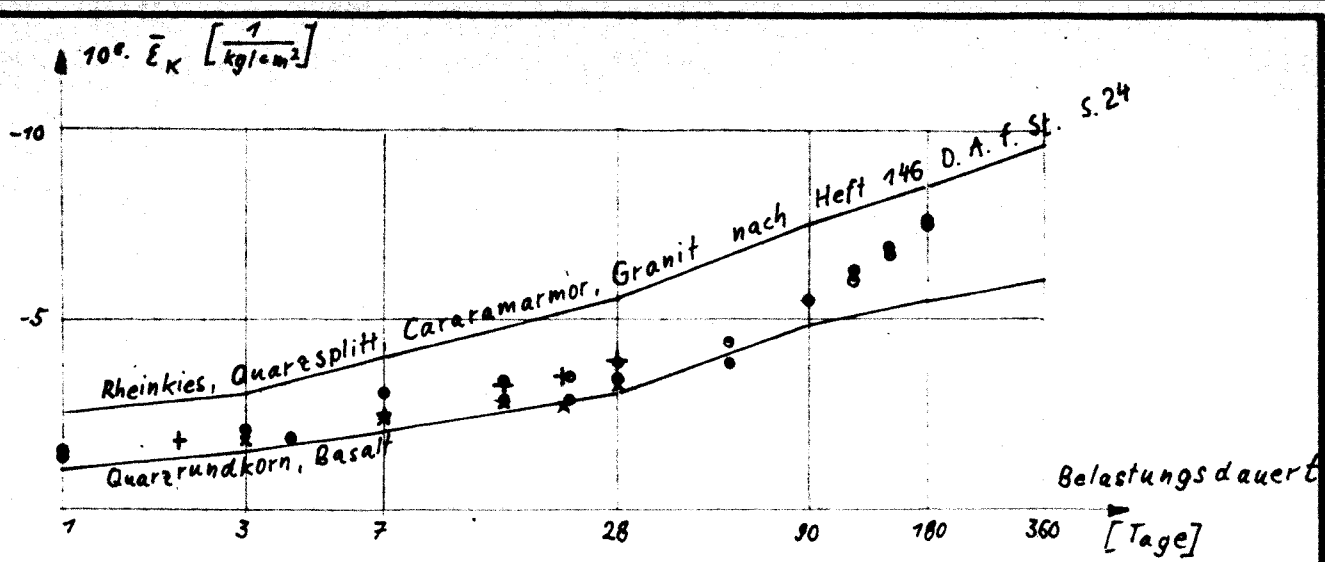
Die Endkriechzahl kann frühestens nach 360 Tagen nach Ross geschätzt werden (vgl. Heft 146, S. 38, D.A.f.St.).

Braunschweig, den 7.9.1964

*Biemiller*

10. Aug. 2006

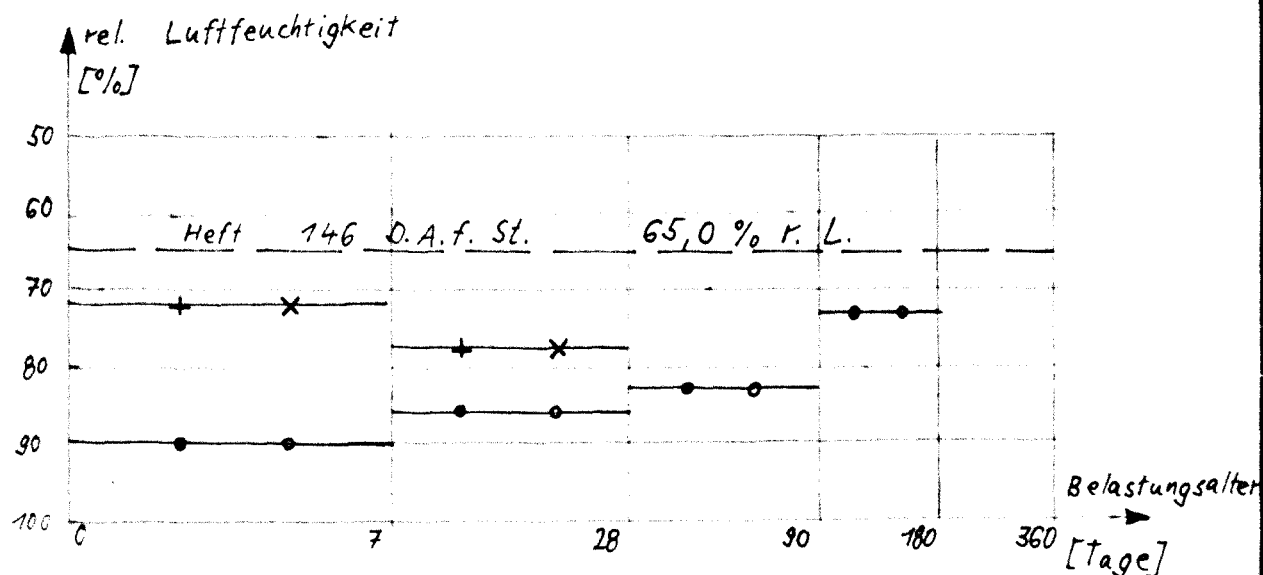
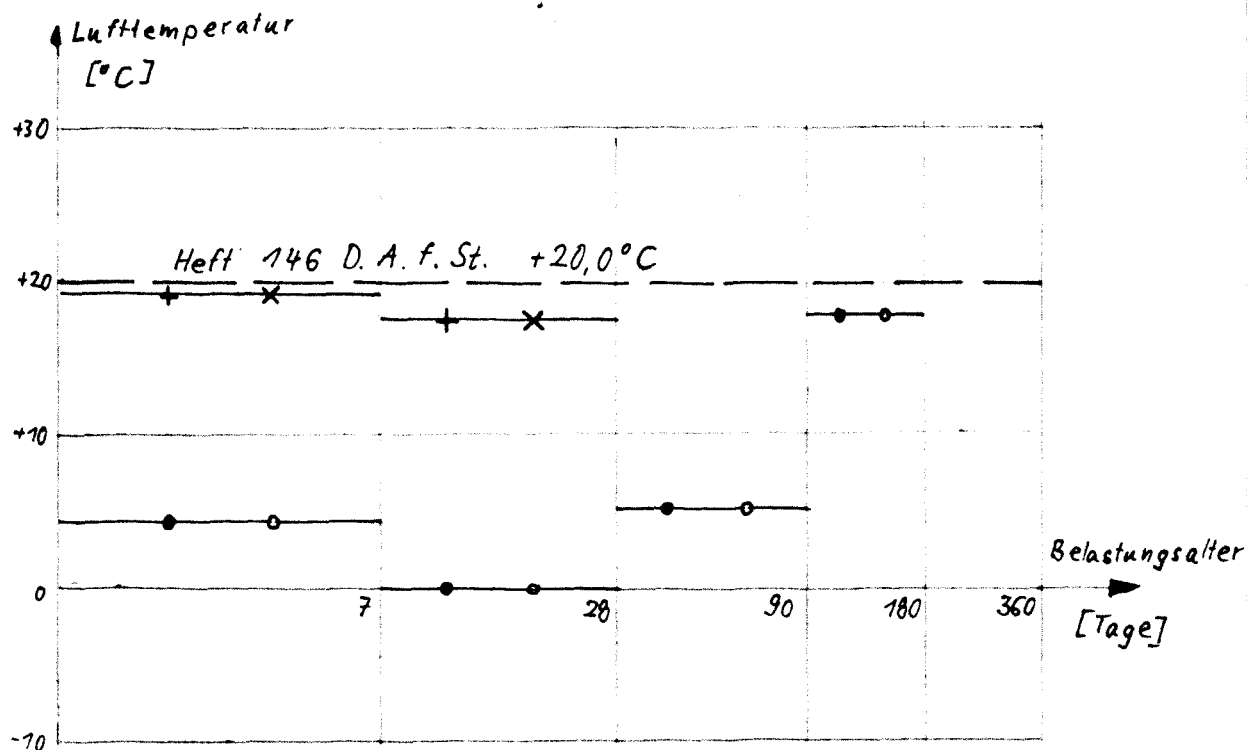
30-0507/001



Institut  
für Baustoffkunde  
T. H. Braunschweig

Bezogene Kriechverformungen  $\bar{\epsilon} = \frac{\epsilon_K}{\sigma_K}$   
Schwindverformungen  $\epsilon_s$   
Gewichtsverlust  $\Delta G$ , bestimmt mit einer  
Brückenwaage von 250 kg Tragkraft

Anlage 1 zum  
Bericht über das  
Kriechen anbewehrten  
Betons im natürlichen Klima



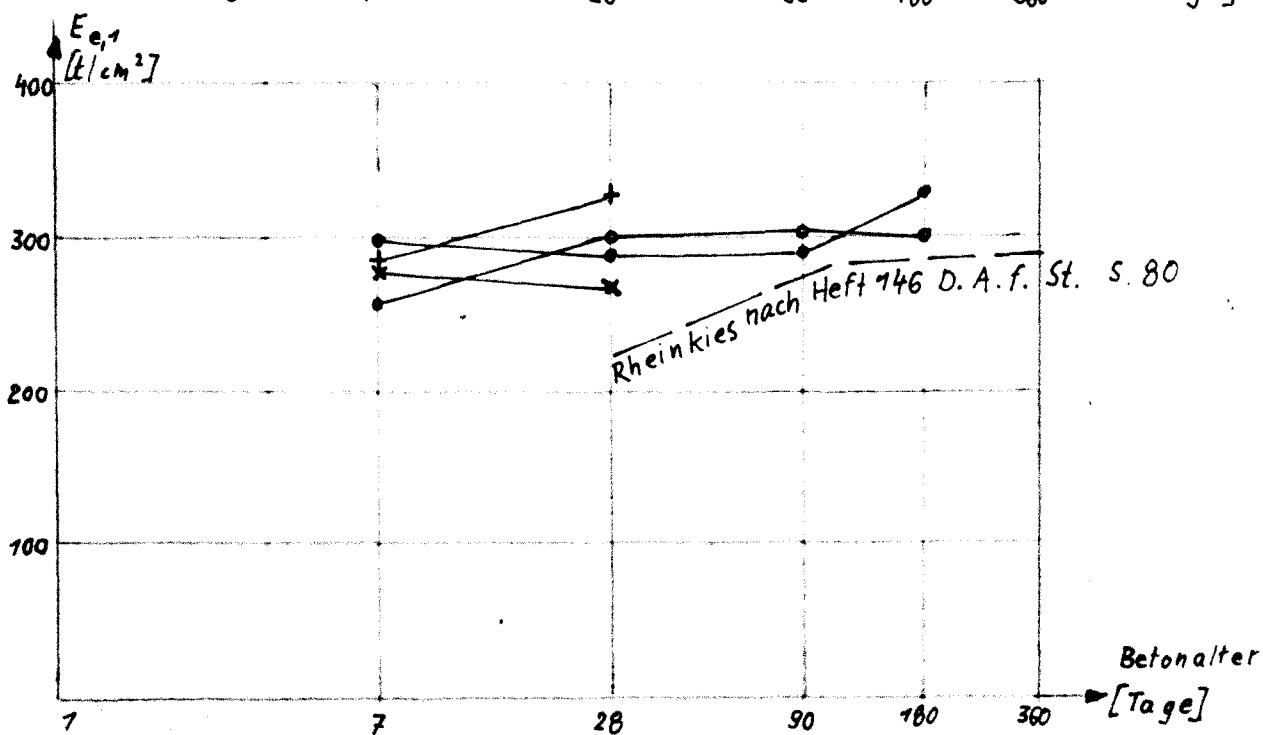
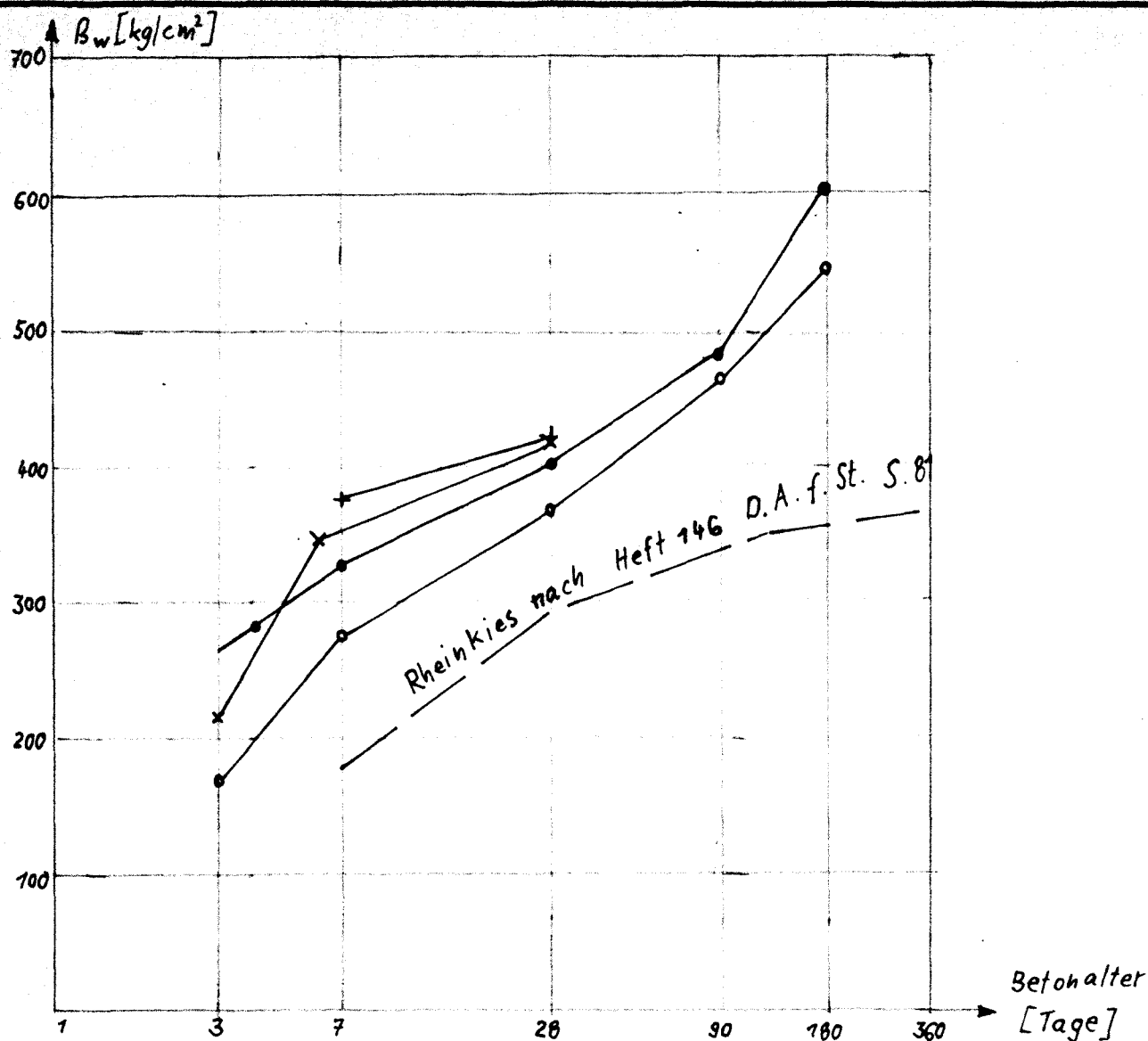
Die gemittelte Lufttemperatur bzw. Luftfeuchtigkeit in den einzelnen Bereichen wird angegeben!

Winterbeton: • KBI P2

Sommerbeton: + KBIII P2

• KBII HO2

x KBIV HO2



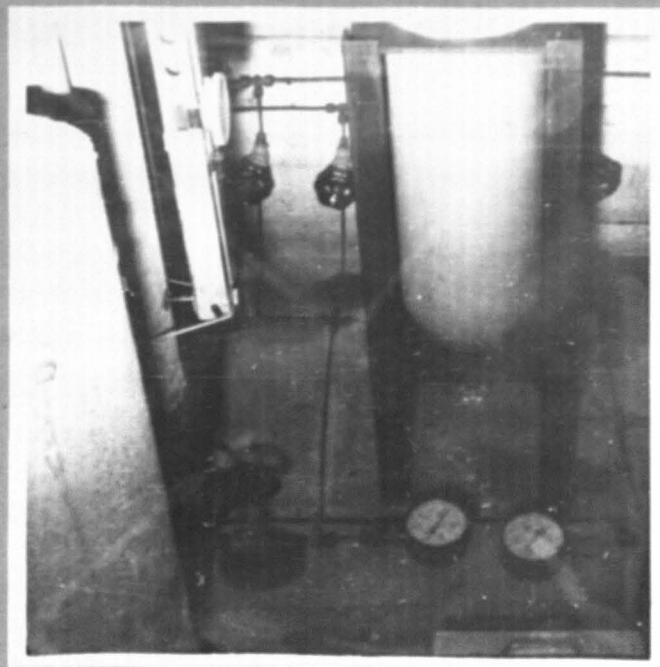
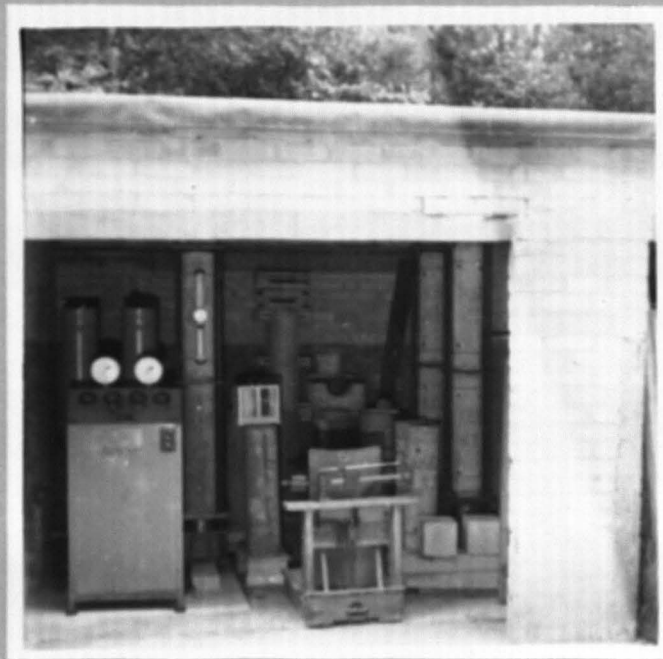
Winterbeton : • KB I Pz  
 • KB II H0z

Sommerbeton : + KB III Pz  
 x KB IV H0z

Institut  
 für Baustoffkunde  
 und Materialprüfung  
 T. H. Braunschweig

Zeitlicher Anstieg der Betondruck-  
 festigkeiten  $B_w$   
 Zeitliche Veränderung des federnden  
 Elastizitätsmodul  $E_{e,1}$

Anlage 3 zum  
 Bericht über das  
 Kriechen unbewehrten  
 Betons im natürlichen Klima



Institut  
für Baustoffkunde  
und Stahlbetonbau  
T. H. Braunschweig

*Einblicke in die Versuchsanlage*

Anlage 4 zum Bericht  
über das Kriechen  
im natürlichen Klima